

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ЧАСТИЦ КАРБИДА ТИТАНА, ВВЕДЕННЫХ В ПОРОШКОВУЮ КОМПОЗИЦИЮ Fe-Ni, НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*М.М. МАСАЛИТИНА, Н.С. ЛЮТЫЙ, О.Ю. ВАУЛИНА*

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет,  
[kolgay@tpu.ru](mailto:kolgay@tpu.ru)

Существуют области, в которых необходимо применение сплавов, которые при изменении температур, не должны изменять своих линейных размеров. Один из таких сплавов – инвар, это сплав, содержащий 36% Ni и 64% Fe. Особенность данного сплава в том, что он имеет аномально низкий температурный коэффициент линейного расширения (далее ТКЛР) при температурах от -80 до 100°C. Но из-за низких механических и прочностных свойств применение инвара ограничено [1, 2].

В работе для повышения механических и прочностных свойств, без изменения ТКЛР, в инвар вводят упрочняющие частицы карбида титана. Целью работы было исследование влияния упрочняющих частиц карбида титана, введенных в порошковую композицию Fe-Ni, на структуру и свойства инвара [3].

Объектами исследования являлись 4 партии образцов, изготовленных методом порошковой металлургии, состоящих из 64% масс. Fe, 36% масс. Ni с добавлением 1%, 5% и 10% масс. TiC. Порошки смешивали, формовали и спекали при температуре 1300°C в течение двух часов, с промежуточной выдержкой 2 часа при температуре 600 °C. Образцы были отшлифованы, отполированы на пасте ГОИ и алмазной пасте и протравлены царской водкой. На рисунке 1 представлены микроструктуры подготовленных поверхностей образцов после травления.

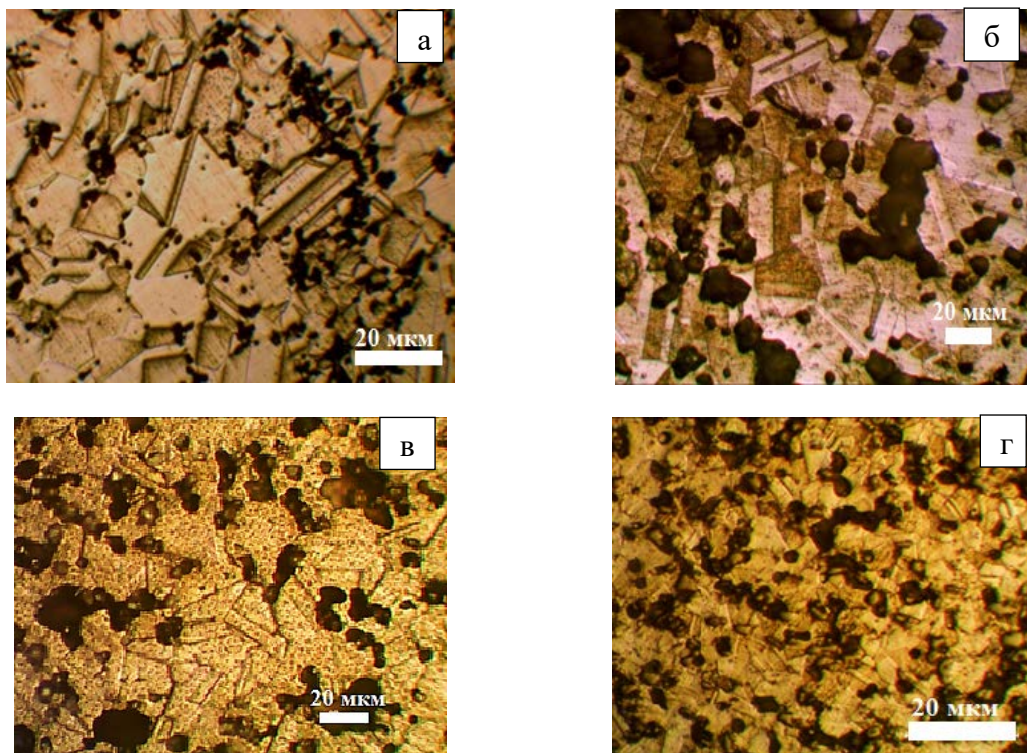


Рисунок 1 – Микроструктура образцов после травления:  
а - Fe-Ni; б - Fe-Ni + 1% TiC; в - Fe-Ni + 5% TiC; г - Fe-Ni + 10% TiC

Из рисунка 1а видно, что структура спеченного образца инвара довольно однородная. Зерна достаточно крупные, наблюдается эффект двойникования. При добавлении карбида титана зерно становится значительно мельче, рисунок 1, так как карбид титана блокирует границы зерен. Эффект двойникования сохраняется для всех образцов. Границы зерен не ровные, угловатые. Структура похожа на аустенитную.

На рисунке 2 представлена совмещенная рентгенограмма для четырех спеченных образцов. Из рентгенограмм видно, что после спекания формируется структура инварного сплава состоящая из аустенитной  $\gamma$ -фазы (ГЦК), характерной для  $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}$ . С увеличением концентрации фазы TiC от 5 до 10% масс. на рентгенограмме обнаружались пики, соответствующие фазе TiC. Параметры решёток представлены в таблице 1.

Микротвердость инвара без карбида титана составляла  $(867 \pm 69,4)$  МПа, а после введения 10% масс. TiC составила  $(1998 \pm 160)$  МПа, т.е. увеличилась более чем в 2 раза. Сравнивая с исследованиями в [4] порошкового инвара, можем увидеть, что наш способ изготовления детали является более эффективным.

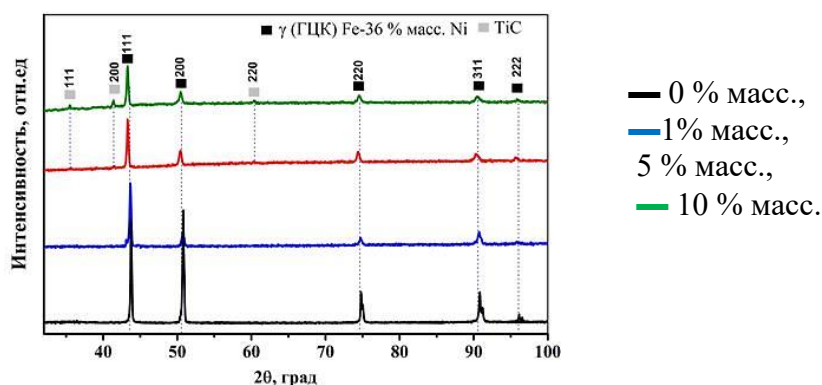


Рисунок 2 – Фрагменты рентгенограмм спечённых образцов при температуре спекания 1300 °С Fe-36 % масс. Ni с разной концентрации TiC

Таблица 1 - Параметры решеток Fe-Ni и TiC

Характеристика	Параметр решетки $\gamma$ (ГЦК) Fe-36%Ni, Å	Параметр решетки TiC, Å
0% TiC	3,595	-
1% TiC	3,594	-
5% TiC	3,595	4,346
10% TiC	3,594	4,350
[1]	-	4,318

Таким образом, результаты исследований подтвердили влияние упрочняющих частиц TiC на структуру и свойства спеченных образцов порошковой композиции Fe-Ni.

#### Список литературы

1. Гуляев А.П. Металловедение. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1986. - 538с.
2. Shiga, M. (1996). Invar alloys. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 1(3), 340 - 48.
3. Cherepova, T. S., Dmytrieva, H. P., Dukhota, O. I., & Kindrachuk, M. V. (2016). Properties of Nickel Powder Alloys Hardened with Titanium Carbide. Materials Science, 52(2), 173 - 179.
4. Григорьев М.В., Молчунова Л.М. и др. Влияние механической обработки на структуру и свойства порошка нестехиометрического карбида титана / Известия ВУЗ. Физика, 2013, Т.56, № 7/2, С. 206-210.